引用格式：张韵. 抢占"镓体系"半导体科技制高点 助力实现光电子信息产业的率先突破. 中国科学院院刊, 2023, 38(8): 1095-1098, doi: 10.16418/j.issn.1000-3045.20230807002.
Zhang Y. Acquiring commanding heights of "gallium system" semiconductor technology, assisting in achievement of the first breakthrough in optoelectronic information industry. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2023, 38(8): 1095-1098, doi: 10.16418/j.issn.1000-3045.20230807002. (in Chinese)

# 抢占"镓体系"半导体科技制高点 助力实现光电子信息产业的率先突破



张 韵
1 中国科学院半导体研究所 北京 100083
2 中国科学院大学 材料科学与光电技术学院 北京 101408

**摘要** "镓体系"半导体材料具有高效光电转换效率和光谱覆盖广的突出优点，是助力实现光电子信息产业突破的关键基础材料。为抢占"镓体系"半导体科技制高点，文章在分析"镓体系"半导体科技的战略意义、重大需求和国内外发展态势基础上，从建制化科研组织、基础研究、自主可控的平台建设等方面对我国发展"镓体系"半导体科技提出了政策建议。

**关键词** 镓，镓体系，光电子，自立自强，氮化镓，砷化镓，氧化镓，锑化镓

DOI 10.16418/j.issn.1000-3045.20230807002
CSTR 32128.14.CASbulletin.20230807002

半导体科技的高水平自立自强，既体现在微电子（集成电路）科技在美西方封锁局势下的"自立"问题，又体现在光电子科技如何筑牢长板形成产业突破的"自强"问题。光电子信息产业的率先突破可以为微电子（集成电路）产业提供有力支持、配合和更有利的国际竞争环境。2022年6月，习近平总书记在听取湖北省光电子信息产业发展及核心技术攻关情况介绍时指出，光电子信息产业是应用广泛的战略高技术产业，也是我国有条件率先实现突破的高技术产业。

光电子信息产业的率先突破离不开高效率的半导体光电材料。2023年7月3日，我国商务部、海关总署发布2023年第23号公告《关于对镓、锗相关物项实施出口管制的公告》：依据《中华人民共和国出口管制法》《中华人民共和国对外贸易法》《中华人民共和国海关法》有关规定，为维护国家安全和利

资助项目：中国科学院稳定支持基础研究领域青年团队计划（YSBR-064）
修改稿收到日期：2023年8月7日

益，经国务院批准，决定对镓、锗相关物项实施出口管制，公告自2023年8月1日起正式实施。其中，镓相关物项包含金属镓、氮化镓、氧化镓、磷化镓、砷化镓等8项。除镓属于金属，其他7项均为含镓元素的化合物半导体材料，可统称为"镓体系"半导体，其主要特点是高光电转换效率和优异的电子输运性能，且能覆盖从紫外、可见光、红外、太赫兹一直到毫米波、微波的常用电磁波谱，是光电子信息产业中光电感知、传输的基石。

对金属镓和"镓体系"半导体材料实施管控举措，展现出我国在该领域已具备一定的资源优势和材料优势，但更具战略意义的工作是如何抢占"镓体系"半导体科技的制高点，进一步筑强我国光电子芯片的长板，进而增强我国光电子信息产业的国际竞争力。

## 1 发展"镓体系"半导体科技对抢占新一代半导体科技制高点具有重要战略意义

（1）"镓体系"半导体科学内涵丰富，对筑强光电子芯片长板起着关键基础作用。传统概念上的"镓体系"半导体材料与器件，基本都是在系统中独立封装、各司其职的分立元器件，包括在很多领域起到关键作用的器件，如半导体激光器、探测器、功率放大器、低噪声放大器、发光二极管等。广义的"镓体系"半导体概念更强调"体系"甚至是"生态"，强调"异质"集成理念及相关技术，也可以融合先进的集成电路芯片和制造技术。

（2）发展"镓体系"半导体科技对我国抢占新一代半导体科技制高点具有重要战略意义。当前，基于硅体系的集成电路芯片发展最为成熟，已经形成了完整的体系生态。但硅体系是美西方掌握话语权的体系生态，我国使用先进的装备、制造技术、电子设计自动化（EDA）工具都会受到严格限制。要逐步扭转我国在集成电路芯片领域被动的局面，一方面要有底线意识，在集成电路赛道紧追不舍，并前瞻性地加强集成电路基础能力建设，逐步点亮集成电路科技自立自强的"灯塔"；另一方面要有长板思维，找准具有优势基础的领域布局新赛道，以抢占新一代半导体竞争的科技制高点。大力发展"镓体系"半导体科技，并形成"体系"和"生态"，将有助于我国确立在新赛道上的领先优势。

（3）我国"镓体系"半导体科技已有自主可控能力，具备抢占科技制高点的物质基础。长期以来，对于硅体系领跑者的美西方对发展"镓体系"半导体科技意愿不强、动力不足，我国的"镓体系"半导体科技追得比较紧，同美西方的差距相对较小。仅以中国科学院半导体研究所为例，从早期的砷化镓激光器、氮化镓激光器，到近期的高性能锑化镓红外探测器和激光器，以及氮化镓蓝光发光二极管，其科技工作的深度和水平同国际一流研发机构相比也基本能处于"并跑"行列。特别值得一提的是，我国还构建了卓有成效的攻关关键核心技术的新型举国体制。另外，"镓体系"半导体科技的特点是不依赖最先进的制造技术也能制造出高性能的器件，不存在集成电路领域被先进光刻机"卡脖子"的问题。

## 2 "镓体系"半导体技术的重大需求与发展态势分析

（1）"镓体系"半导体支持在广域电磁波谱段范围内实现感知、计算、传输三者智能融合的终端芯片。从传统的感知、计算分离进化到终端感知、计算、传输智能融合，是解决云端计算大数据量延迟、抗网络风险能力弱的有效方案。现场可编程逻辑门阵列（FPGA）、人工智能硬件加速器、数据转换器、数字信号处理等，必须与负责态势感知和数据传输的"镓体系"半导体芯片集成到单个封装中，并由高效的电源管理芯片提供支持，以提高智能终端系统的自主性、多任务灵活性，以及减小尺寸、重量和功耗

(SWAP)。与相对成熟的分立器件只重视单独优化材料和元件性能的传统设计理念不同，“镓体系”半导体更注重系统协同优化理念和可重新配置的平台思维方式。

（2）“镓体系”半导体支持高速光子收发器件，有望彻底解决云端大算力芯片的海量数据大带宽传输瓶颈问题。云计算中心目前面临着越来越严重的数据传输瓶颈，而这个问题有望通过共封装光学（CPO）技术来解决。CPO将高速半导体激光器、高速光学接口元件紧密地结合成为一体化的高性能光子收发器件，并与大算力芯片异质异构集成封装，为大算力芯片需要的海量数据提供高效的长距离和大带宽数据传输。与传统电路板上的铜电线相比，“镓体系”半导体技术可提供显著提高的数据传输速率和极低的数据功耗——现有结果已经展示在单个小芯片产生了T比特每秒量级的数据吞吐量，且能耗仅为5皮焦每比特。

（3）“镓体系”半导体的终极形态将是多种材料原子级堆叠构建的多异质结量子结构，并可制备出颠覆性的光-电-智能共融芯片。目前，一些正在快速发展的材料生长新技术有望实现多种高品质“镓体系”半导体材料纳米尺度下的异质堆叠，实现在单个器件中集成所希望的多种材料特性，以突破传统单一材料的设计权衡。这将提供具有颠覆性优势的新材料特性，电子、光电子、量子、磁性等器件都将从这场“变革”中受益。例如，现在已有堆叠了多层氮化镓沟道的材料报道，这足以支撑带有侧栅极的3D多通道结构场效应晶体管，以实现极低的导通电阻。

## 3 发展我国“镓体系”半导体科技的建议

长期以来，我国半导体科研和产业发展，始终在不同程度上存在着顶层规划落实不到位、基础研究和专利布局滞后、核心装备和制造技术受制于人、科研和产业脱节等“老大难”问题。通过深刻领会习近平总书记提出的“强化基础研究前瞻性、战略性、系统性布局”重要指示精神，对发展我国“镓体系”半导体科技提出4条建议。

（1）充分发挥国家科研机构建制化组织作用，联合国内有基础的研究型大学和科技领军企业对“镓体系”半导体科技开展顶层设计、统筹规划、合力攻关。组织从物理原理、材料、器件、装备、产品到工程应用的全链条、最具实力的“镓体系”半导体科技力量，扎实凝练关键科学问题和科研目标，构筑“镓体系”半导体科技的科研新范式。这个范式创新是美西方目前还没有明确提出的；因此，要下好“先手棋”，尽快开展顶层规划，稳步推进，有序实施。从规划层面确保科研机构在攻关过程中能够改变传统的“散装”课题意识，科技企业能够转变以往的“头痛医头、脚疼医脚”的短期意识。要对标对表习近平总书记“光电子信息产业是应用广泛的战略高技术产业，也是我国有条件率先实现突破的高技术产业”目标要求，发挥新型举国体制的优势，强化“镓体系”半导体科技的协同攻关，增强核心竞争力，抢占科技制高点；迅速形成我国“镓体系”半导体的科研、产业优势，以增强我们同美西方的竞争能力、谈判筹码。

（2）高度重视基础研究，从“镓体系”半导体量子物理和EDA工具的源头做起，并超前做好专利布局。“镓体系”半导体作为较新的材料体系，研究相对不充分、不完全，许多材料性能的假设尚未通过理论或实验检验，也没有得到充分评估或证明。通过理论仿真、预测和基准测试了解材料系统的基本特性，对于决定如何进一步发展器件制造至关重要。自主可控的EDA工具在理论研究和实验检验的基础上发展并完善，有助于实现原子级到电路级的仿真，可以显著缩短芯片研发的周期和成本，并为超前布局专利体系赢得时间。

（3）高度重视基于自研装备的科研平台能力建设，将基础研究固化在自主可控的核心装备上，从根本上

摆脱受制于人。由于先进装备受限，采用落后的工艺在短期内是我国半导体界唯一的选择。大力发展“镓体系”半导体制造技术，是推动自主可控的半导体装备国产化验证的有效推手，特别是验证国产光刻机及光刻胶等相关耗材的有力途径。目前，国产装备要想导入成熟的硅集成电路产线进行验证面临很大阻力。“镓体系”半导体目前对装备的线宽和可靠性要求不像硅体系那么严苛，可以和国产装备天然形成共同成长的伙伴关系。

（4）打通科研平台和生产企业之间的壁垒，发挥好光电子信息产业的科技领军企业的“出题人”“答题人”和“阅卷人”作用。“镓体系”半导体应向先进的硅制造工艺学习，导入生产企业乐于接受的大尺寸、低成本硅衬底平台，以及大尺寸小线宽光刻、化学机械抛光、平面化多级铜互连等先进工艺模块。这样做有助于打通科研平台与生产企业之间的壁垒，有利于实现高产量、高性能和低成本生产。科研平台应以多项目晶圆（MPW）的方式，向国内的设计企业积极开放平台代工资源，但前提是对创新设计的知识产权（IP）享有共同的权利。科研平台和科技企业之间紧密合作，以实现“镓体系”半导体技术从设计到制造、测试、应用等全链条的快速迭代推进。

张　韵　中国科学院半导体研究所副所长、研究员、博士生导师，中国科学院大学材料科学与光电技术学院岗位教授。研究方向：半导体材料与器件。E-mail: yzhang34@semi.ac.cn



■责任编辑：岳凌生